

МОДУЛЬ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИМІРІВ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ВАХ СВІТЛОДІОДІВ

А. О. Охріменко^{1, а}, Д. В. Гуменюк², Г. Є. Монастирський¹

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Фізико-технічний інститут

²Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Факультет електроніки

Анотація

Описано модуль керування температурою установки, що дозволяє автоматизовано вимірювати температурну залежність вольт – амперних характеристик напівпровідникових пристроїв. Реалізований на базі контролера Arduino Uno R3 із застосуванням алгоритму PID контролю. Забезпечується стабільне лінійне нагрівання напівпровідникового пристрою зі швидкістю до $20^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ та підтримання сталого температурного режиму з точністю до $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$. Продemonстровано суттєве покращення стабільності нагрівання та підтримання температури при застосуванні PID контролю.

Ключові слова: вольт-амперна характеристика, PID контроль, стабілізація температури, лінійне нагрівання

Вступ

При розробці електричних схем, важливо знати вольт-амперну характеристику (ВАХ) напівпровідникового приладу, що використовується, а також її залежність від температури. Точна ВАХ та її температурна залежність становить інтерес і для наукових та дослідницьких лабораторій, що працюють в сфері фізики напівпровідників, де важливо точно контролювати параметри розроблюваних пристроїв і досліджувати вплив на них зовнішніх факторів, зокрема температури. Як правило, інформація про ВАХ за різних температур обмежено дається в технічній документації, особливо гостро ця проблема постає коли немає точних даних про модель пристрою. Метою даної роботи була розробка модуля керування температурою, що є частиною програмно-апаратного комплексу для вимірів вольт-амперних характеристик світлодіодів середньої потужності при контрольованих температурних режимах.

1. Схема установки

Для зняття ВАХ світлодіоду за умови контрольованого нагрівання використовується теплова комірка, схема якої показана на рис. 1. Основними складовими комірки є теплоізоляційний корпус, нагрівальний елемент та контролер Arduino Uno R3 12. Світлодіод 1 припаяний до плати 2, яка в свою чергу приєднана гвинтами до радіатора. Таке з'єднання забезпечує швидко заміну плати та напівпровідникового

пристрою на ній, не вимагаючи при цьому спеціалізованого обладнання. Контролер Arduino управляє потужністю нагрівального елемента, швидкістю обертання вентилятора, вимірами температури під платою світлодіоду (модуль MAX6675[1]), температурі всередині камери (модуль INA219[2]) та світлового потоку (модуль ISL29125[3]). Схема програмованого джерела струму та вимірів вольт-амперної характеристики розглядається в окремому дослідженні[4]. Температура всередині корпусу змінюється за заданим алгоритмом. Для досягнення цього у корпусі розташований датчик температури 5, який вимірює температуру біля нагрівального елемента та напівпровідникового пристрою. Результати вимірів оброблюються в Arduino Uno R3, і, використовуючи алгоритм PID контролю, коректується потужність нагрівача для установлення необхідної температури всередині теплоізоляційного корпусу. Таким чином, знятий в певний момент часу ВАХ можна поставити у відповідність температуру яка, згідно алгоритму нагрівання, була на той момент всередині теплоізоляційного корпусу.

2. Схема роботи теплової комірки

Всередині теплоізоляційного циліндру 8 розміщені дві горизонтальні текстолітові пластини, на яких розташований нагрівальний елемент 4 та термістор 5. Знизу циліндра знаходиться трубка 9 утримувача світлового датчика, зверху — металевий радіатор 6. Для рівномірного розподілу температури всередині установки використовується вентилятор 6, який

^аant.okhrimenko@gmail.com

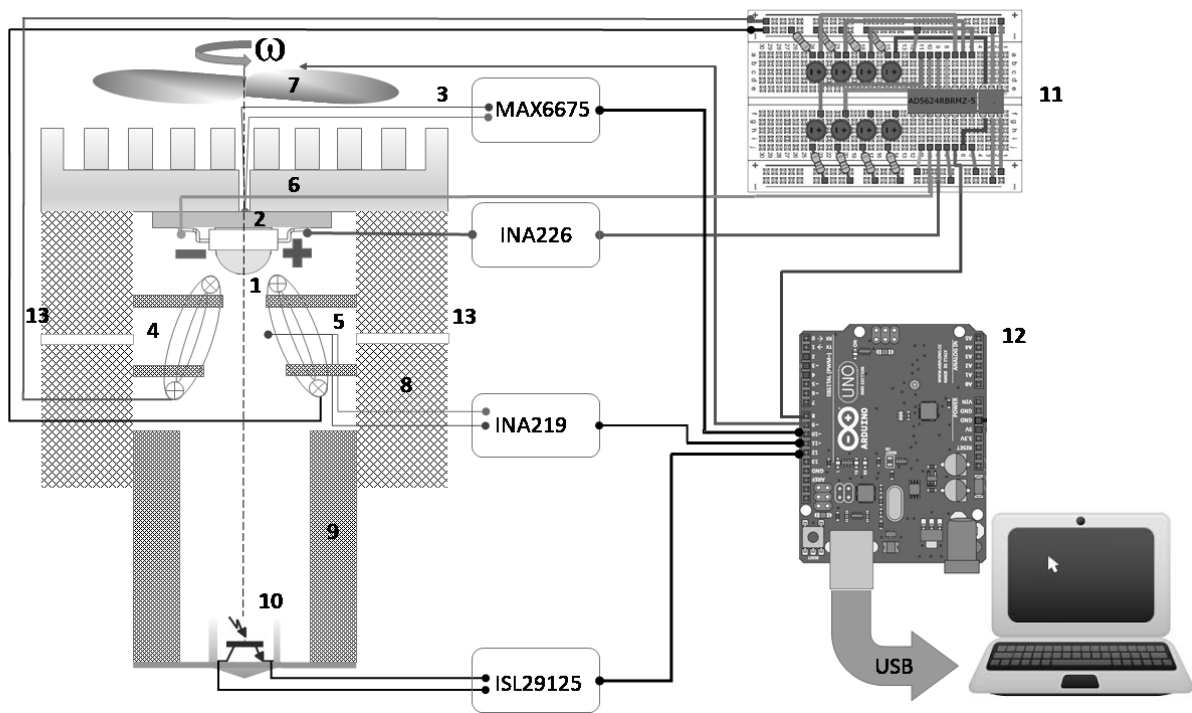


Рис. 1. Схема прототипу програмно-апаратного комплексу для вимірів температурної залежності ВАХ: 1 – світлодіод; 2 – плата світлодіода; 3 – термопара ТП1; 4 – нагрівальний елемент; 5 – термістор; 6 – радіатор; 7 – вентилятор; 8 – теплоізоляційний циліндр; 9 – тубус; 10 – світловий датчик; 11 – макетна плата із зібраними схемами зняття ВАХ світлодіода; 12 – контролер Arduino Uno R3 ATmega328

через вентиляційні отвори 13 спрямовує повітряний потік на нагрівальний елемент, після чого гаряче повітря спрямовується вгору, в тому числі на світлодіод 1. В якості нагрівального елементу був вибраний ніхромовий дріт, що має слабку залежність опору від температури у робочому діапазоні. Каркас нагрівального елементу утворюють дві текстолітові співвісні пластини у формі двох кіл з однаковим зовнішнім радіусом та різними внутрішніми. Нагрівальний елемент має опір 1.3 Ом, що забезпечує потужність до 20 Вт при живленні 5 В.

3. Схема вимірів температури

Для вимірювання температури було використано термістор, розміри і теплова інерційність якого приблизно однакові із напівпровідниковим приладом. Крім того, його перевагою є відсутність затримки при вимірюванні, що дозволяє знімати покази температури з довільною частотою. У варіанті експериментальної установки, описаний у цій статті, використовується термістор NTCLE100E3, опір якого змінюється в межах від 1217 до 119.4 Ом (в межах діапазону температур, що розглядається). Падіння напруги та струм через термістор вимірюється модулем INA219, який надсилає їх значення на Arduino Uno R3 для подальшої обробки. Контролер Arduino, використовуючи таблицю температур і опорів з технічної документації даного термістора[5], програмними засобами перетворює значення опору на поточну температуру всередині установки.

4. Схема роботи PID контролю і принцип керування нагрівачем

Під час роботи установки, контролер Arduino кожні 0.5 секунд вимірює температуру всередині комірки та запускає алгоритм PID контролю, який обчислює необхідну потужність нагрівального елементу для досягнення заданої температури. Після чого потужність на нагрівачі відповідно змінюється. Якщо необхідно знизити температуру і алгоритм повертає близьке до нуля значення потужності, додатково встановлюється максимальна швидкість обертання вентилятора. Нагрівальний елемент працює на заданій потужності 0.5 секунд, після чого відбувається новий вимір і встановлюється нове значення потужності за вищенаведеною схемою. Параметри PID контролю встановлені такі, що алгоритм враховує покази температури за останні 5 секунд, тобто 10 останніх вимірів[6]. Експериментально встановлено, що константа диференціювання PID контролю може бути встановлена рівною нулю, оскільки інерційність теплової комірки унеможливила небажані перегриви світлодіода.

5. Електрична схема контролю нагрівання

Для керування потужністю нагрівального елементу було використати широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ) напруги, що подається на нагрівальний елемент. Таким чином, регулюючи ширину модуляції, можна отримати різні значення потужності нагрівального елементу від 0 Вт до максимальних 20 Вт.

Для реалізації вищевказаного принципу було використано схему на n-мосфеті IRL540NPbF, що ввімкнений за схемою зі спільним витоком (рис. 2). Керуючий ШІМ сигнал на затвор транзистора надходить від Arduino Uno R3. Перевагами цієї схеми є простота реалізації, неможливість до обчислювальних ресурсів Arduino та майже повна відсутність втрат потужності на додаткових елементах схеми.

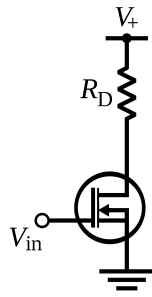


Рис. 2. Схема керування потужністю нагрівального елемента на транзисторі IRL540NPbF. V_{in} – ШІМ-сигнал від Arduino, R_D – нагрівальний елемент, V_+ – напруга живлення (5 В).

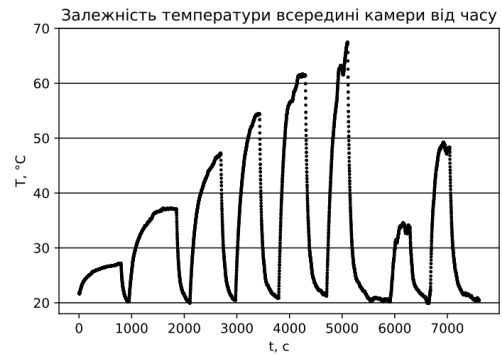
6. Приклад регулювання

Для визначення параметрів роботи установки проведено циклічне нагрівання та охолодження комірки без використання PID контролю, при цьому нагрівальний елемент працював на потужності, що становить 80% від максимальної, та не був ввімкнений під час охолодження. Графічна залежність температури від часу зображена на рис. 3а. Як видно з графіку, часова залежність температури має експоненційний характер при температурах до приблизно 50°C і суттєво нерівномірний при більших.

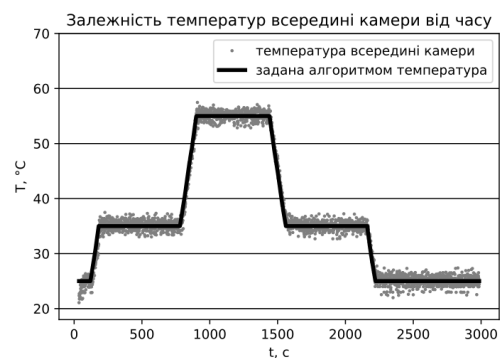
Застосування PID контролю суттєво покращило стабільність температурного режиму (рис. 3б). Алгоритм керування температурою був запрограмований таким чином, щоб температура, яку необхідно досягти, лінійно змінювалася, а після досягнення певного порогового значення залишалася незмінною. Таким чином алгоритм PID контролю щоразу отримував нову мету і був вимушений підлаштовуватися під зміни. Під час експерименту було проведено декілька описаних вище циклів з різними пороговими температурами. Отримані результати показують, що можливо досягти лінійної зміни температури зі сталою швидкістю нагрівання та охолодження до $20^{\circ}\text{C}/\text{хв}$, а не експоненційної як у попередньому випадку, а також можливо підтримувати довільну задану температуру на сталому рівні. Як видно з графіку, точність підтримки температури становить $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, цього значення цілком достатньо для отримання стабільної ВАХ при заданій температурі.

Висновки

Розроблено і випробувано модуль керування температурою, що є частиною програмно-апаратного комплексу для вимірів температурної залежності ВАХ. Модуль, керований Arduino Uno R3, забезпечує керування потужністю нагрівального елемента від 0 до 20 Вт, роботу в температурному інтервалі від 20 до 90°C . Застосований алгоритм PID контролю дозволяє отримати різні температурні режими,



(а) без регулювання



(б) з регулюванням

Рис. 3. Залежність температури від часу

зокрема лінійне наростання температури до $20^{\circ}\text{C}/\text{хв}$, спадання температури – до $50^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ та ізотермічну витримку з точністю $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, що є достатнім для отримання стабільної ВАХ при заданій температурі.

Перелік використаних джерел

1. Maxim Integrated Products Inc. MAX6675, Datasheet. – 2014. – P. 8 с. – Access mode: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>.
2. Texas Instruments. INA219 Zero-Drift, Bidirectional Current and Power Monitor With I2C Interface, Datasheet. – 2015. – P. 38 с. – Access mode: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina219.pdf>.
3. Renesas Electronics. ISL29125, Datasheet. – 2017. – P. 17 с. – Access mode: <https://www.renesas.com/eu/en/www/doc/datasheet/isl29125.pdf>.
4. Гуменюк Д. В. Установка для автоматизованого вимірювання вольт-амперних характеристик // Буде опубліковано в журналі «Електронна та Акустична Інженерія». – 2019.
5. Vishay Intertechnology Inc. NTC Thermistors, Datasheet. – 2010. – P. 141 с. – Access mode: [http s://vishayintertech.assetbank-server.com/books/VSE-DB0069-1009%20NTC%20Thermistors_INTERACTIVE.pdf](http://s://vishayintertech.assetbank-server.com/books/VSE-DB0069-1009%20NTC%20Thermistors_INTERACTIVE.pdf).
6. Bista Dinesh. Understanding and Design of an Arduino-based PID Controller. – 2016. – P. 72 с. – Access mode: <https://scholarscompass.vcu.edu/etd/4665>.